

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
17 juin 2004 (17.06.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/051687 A1

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

H01H 59/00

Philippe [FR/FR]; 9 rue Louis Vidal, F-38100 GRENOBLE (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/050137

(74) Mandataire : LEHU, Jean; c/o BREVATOME, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

(22) Date de dépôt international :

27 novembre 2003 (27.11.2003)

(81) État désigné (national) : US.

(25) Langue de dépôt :

français

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

02 14946 28 novembre 2002 (28.11.2002) FR

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31/33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).

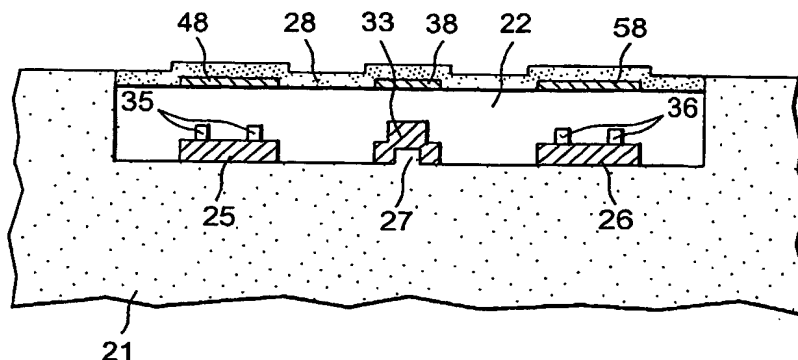
(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : ROBERT,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: ELECTROSTATIC MICROSWITCH FOR LOW-VOLTAGE-ACTUATION COMPONENT

(54) Titre : MICRO-COMMUTATEUR ELECTROSTATIQUE POUR COMPOSANT A FAIBLE TENSION D'ACTIONNEMENT



(57) Abstract: The invention relates to an electrostatic microswitch which is intended to connect electrically two strip conductors which are disposed on an insulating support (21). According to the invention, the two strip conductors are connected electrically by conducting means (38) which are provided in the central part of deformable means (28) which can be deformed in relation to the support under the effect of an electrostatic force generated by control electrodes (25, 48; 26, 58). The control electrodes are distributed facing one another on the deformable means and the support, such as to form capacitive

means around the aforementioned conducting means. Moreover, the control electrodes are associated with insulating stop elements (35, 36) which are provided in order to prevent a short circuit between electrodes of the capacitive means during the deformation of the deformable means. The distance between the deformable means and the ends of the strip conductors is less than or equal to the distance between the insulating stop elements associated with the control electrodes and the control electrodes located opposite.

(57) Abrégé : L'invention concerne un micro-commutateur électrostatique destiné à raccorder électriquement deux pistes conductrices disposées sur un support isolant (21), le raccord électrique entre les deux pistes conductrices se faisant par des moyens conducteurs (38) prévus en partie centrale de moyens déformables (28) aptes à se déformer par rapport au support, sous l'action d'une force électrostatique générée par des électrodes de commande (25, 48 ; 26, 58) réparties en vis-à-vis sur les moyens déformables et le support pour former des moyens capacitifs autour des moyens conducteurs. Les électrodes de commande sont associées à des butées d'isolation (35, 36) prévues pour éviter tout court-circuit entre électrodes des moyens capacitifs au cours de la déformation des moyens déformables. La distance séparant les moyens déformables des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les butées d'isolation associées aux électrodes de commande des électrodes de commande situées en vis-à-vis.

**MICRO-COMMUTATEUR ELECTROSTATIQUE POUR COMPOSANTS A  
FAIBLE TENSION D'ACTIONNEMENT**

**DESCRIPTION**

**5    DOMAINE TECHNIQUE**

L'invention concerne un micro-commutateur électrostatique à grande fiabilité de fonctionnement et adapté aux composants à faible tension d'actionnement. Sous le terme de micro-commutateur, on inclut les  
10 micro-relais, les actionneurs de type MEMS (pour "Micro-Electro-Mechanical-System) et les actionneurs haute fréquence.

**ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

15 L'article "RF MEMS from a device perspective" de J. Jason Yao, paru dans J. Micromech. Microeng. 10(2000), pages R9 à R38, récapitule les progrès récents accomplis dans le domaine des MEMS pour des applications hautes fréquence.

20 Les composants haute fréquence ou RF pour la téléphonie mobile se voient imposer le cahier des charges suivants :

- tension d'alimentation inférieure à 5 V,
- isolation supérieure à 30 dB,
- 25 - perte d'insertion inférieure à 0,3 dB,
- fiabilité pour un nombre de cycles supérieur à  $10^9$ ,
- dimensions inférieures à  $0,05 \text{ mm}^2$ .

Les micro-commutateurs sont très largement  
30 utilisés dans le domaine des communications : dans le

routage des signaux, les réseaux d'accord d'indépendances, l'ajustage de gain d'amplificateurs, etc... En ce qui concerne les bandes de fréquences des signaux à commuter, ces fréquences sont comprises entre quelques  
5 MHz et plusieurs dizaines de GHz.

Classiquement, pour ces circuits RF, on utilise des commutateurs issus de la micro-électronique, qui permettent une intégration avec l'électronique des circuits et qui ont un faible coût  
10 de fabrication. En termes de performances, ces composants sont par contre assez limités. Ainsi, des commutateurs de type FET en silicium peuvent commuter des signaux de forte puissance à basse fréquence mais pas à haute fréquence. Les commutateurs de type MESFET  
15 en GaAs ou les diodes PIN fonctionnent bien à haute fréquence mais uniquement pour des signaux de faibles niveaux. Enfin, d'une manière générale, au-delà de 1 GHz, tous ces commutateurs micro-électroniques présentent une perte d'insertion importante  
20 (classiquement autour de 1 à 2 dB) à l'état passant et une isolation assez faible à l'état ouvert (-20 à -25 dB). Le remplacement de composants conventionnels par des micro-commutateurs MEMS est par conséquent prometteur pour ce type d'application.

25 De par leur conception et leur principe de fonctionnement, les commutateurs MEMS présentent les caractéristiques suivantes :

- faibles pertes d'insertion (typiquement inférieures à 0,3 dB),
- 30 - isolation importante du MHz au millimétrique (typiquement supérieure à -30 dB),

- faible consommation,
- pas de non-linéarité de réponse.

On distingue deux types de contact pour ces micro-commutateurs MEMS.

5 L'un de ces types de contact est le commutateur à contact ohmique décrit dans l'article "RF MEMS from a device perspective" de J. Jason Yao cité ci-dessus et dans l'article "A Surface Micromachined Miniature Switch For Telecommunications Applications  
10 with Signal Frequencies From DC up to 4 GHz" de J. Jason Yao et M. Franck Chang, paru dans la revue Transducers'95, Eurosensors IX, pages 384 à 387. Dans ce type de contact, les deux pistes RF sont mises en contact par un court-circuit (contact métal-métal). Ce  
15 type de contact est adapté aussi bien pour les signaux continus que pour les signaux haute fréquence (supérieure à 10 GHz).

L'autre type de contact est le commutateur capacitif décrit dans l'article "RF MEMS From a device  
20 perspective" de J. Jason Yao cité ci-dessus et dans l'article "Finite Ground Coplanar Waveguide Shunt MEMS Switches for Switched Line Phase Shifters" de George E. Ponchak et al., paru dans 30th European Microwave Conference, Paris 2000, pages 252 à 254. Dans ce type  
25 de contact, une couche d'air est ajustée de manière électromécanique pour obtenir une variation de capacité entre l'état fermé et l'état ouvert. Ce type de contact est particulièrement bien adapté aux hautes fréquences (supérieures à 10 GHz) mais inadéquat aux basses  
30 fréquences.

Dans l'état de l'art, on distingue deux grands principes d'actionnement pour les commutateurs MEMS : les commutateurs à actionnement thermique et les commutateurs à actionnement électrostatique.

5 Les commutateurs à actionnement thermique présentent l'avantage d'une faible tension d'actionnement. Par contre, ils présentent les inconvénients suivants : consommation excessive (surtout dans le cas d'applications en téléphonie  
10 mobile), vitesse de commutation faible (à cause de l'inertie thermique) et technologie souvent lourde.

Les commutateurs à actionnement électrostatique présentent les avantages d'une vitesse de commutation rapide et d'une technologie généralement  
15 simple. Par contre, ils présentent l'inconvénient dû à des problèmes de fiabilité. Ce point est particulièrement sensible dans le cas de micro-commutateurs électrostatiques à faible tension d'actionnement (possibilité d'un collage des  
20 structures).

Le problème du collage des commutateurs à actionnement électrostatique est crucial. Ce problème est signalé notamment dans l'article de George E. Ponchak et al. cité ci-dessus et dans l'article  
25 "Communications Applications of Microelectromechanical Systems" de Clark T.-C. Nguyen, paru dans Proceedings, 1998 Sensors Expo, San Jose, CA, 19 au 21 mai 1998, pages 447 à 455.

Les micro-commutateurs électrostatiques de  
30 l'état de l'art présentent une électrode mobile d'actionnement isolée de l'électrode fixe par une

couche diélectrique qui permet d'éviter tout court-circuit lors du basculement du micro-commutateur. Cette couche diélectrique, enserrée dans la capacité mobile d'actionnement n'est jamais parfaite. Elle comporte des défauts qui sont à l'origine d'un piégeage de charges dans la couche. Ces charges qui s'accumulent dans le diélectrique peuvent à terme engendrer une défaillance du composant (collage de la poutre ou nécessité d'une tension d'actionnement de plus en plus importante au cours des cycles de commutations).

Ce phénomène est accentué dans le cas des micro-commutateurs à faible tension d'actionnement où, pour atteindre les tensions de commutation généralement requises (classiquement supérieures ou égales à 5 volts), les concepteurs utilisent des structures mobiles présentant une raideur mécanique faible, c'est-à-dire une force de rappel élastique qui s'avère insuffisante au regard des forces électrostatiques parasites amenés par ce piégeage de charges, et qui conduit bien souvent au collage des micro-commutateurs au bout de  $10^4$  à  $10^5$  cycles, soit bien en dessous des spécifications généralement requises (supérieures à  $10^9$  cycles).

Une manière simple d'éviter le piégeage de charges serait d'utiliser une poutre métallique. Il apparaît alors un risque important de court-circuit de cette poutre sur l'électrode d'actionnement, notamment dans le cas de micro-commutateurs à faible tension de commutation qui présentent une faible raideur mécanique. Pour remédier à ce problème de court-circuit, on peut envisager de placer des butées

diélectriques de faibles dimensions sur les électrodes d'actionnement, le piégeage de charges localisé aux seules butées ne devant pas perturber le fonctionnement du micro-commutateur. Le problème réside cette fois  
5 dans le risque important d'une mise en butée de la poutre sans contact au niveau des pistes conductrices à connecter.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

10 La présente invention a été conçue pour remédier aux inconvénients présentés par les dispositifs de l'art antérieur.

Elle a pour objet un micro-commutateur électrostatique destiné à raccorder électriquement au  
15 moins deux pistes électriquement conductrices disposées sur un support isolant, le raccord électrique entre les deux pistes conductrices se faisant par des moyens conducteurs prévus en partie centrale de moyens déformables aptes à se déformer par rapport au support,  
20 sous l'action d'une force électrostatique générée par des électrodes de commande réparties en vis-à-vis sur les moyens déformables et le support pour former des moyens capacitifs autour desdits moyens conducteurs, lesdits moyens conducteurs réalisant le raccord  
25 électrique entre les deux pistes conductrices lorsque les moyens déformables sont déformés jusqu'à venir en contact avec les extrémités des pistes conductrices, caractérisé en ce que :

- l'électrode ou les électrodes de commande  
30 sur le support ou l'électrode ou les électrodes de commande sur les moyens déformables est (sont)

associée(s) à des butées d'isolation prévues pour éviter tout court-circuit entre électrodes desdits moyens capacitifs au cours de la déformation des moyens déformables,

- 5                   - la distance séparant les moyens déformables des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les butées d'isolation associées à une électrode ou aux électrodes de commande de l'électrode ou des électrodes de  
10 commande située(s) en vis-à-vis.

Les moyens déformables peuvent être choisis parmi une membrane et une poutre.

- Selon une première variante de réalisation, les moyens déformables sont en matériau conducteur et  
15 constituent une électrode de commande et les moyens conducteurs.

- Selon une deuxième variante de réalisation, les moyens déformables sont en matériau isolant et supportent des parties conductrices pour constituer une  
20 électrode ou des électrodes de commande et un plot conducteur pour constituer lesdits moyens conducteurs.

Chaque extrémité de piste conductrice peut être formée sur un bossage du support.

- Les moyens conducteurs peuvent être en  
25 dépassement par rapport aux moyens déformables.

Les butées d'isolation peuvent être des plots en matériau isolant supportés par une ou des électrodes de commande.

- Les butées d'isolation peuvent être des  
30 parties proéminentes d'une électrode ou d'électrodes de commande située(s) en regard de parties isolantes

situées au sein ou près d'une électrode ou d'électrodes de commande en vis-à-vis.

Si le micro-commutateur est du type à contact ohmique, les moyens conducteurs sont aptes à être mis directement en contact électrique avec les extrémités des pistes conductrices.

Si le micro-commutateur est du type capacitif, une couche de matériau isolant est interposée entre les moyens conducteurs et les extrémités des pistes conductrices.

#### **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- les figures 1 et 2 sont des vues en coupe, respectivement longitudinale et de dessus, d'une première variante de micro-commutateur selon l'invention,

- la figure 3 est une vue en coupe longitudinale d'une deuxième variante de micro-commutateur selon l'invention,

- la figure 4 est une vue en coupe longitudinale d'une troisième variante de micro-commutateur selon l'invention,

- la figure 5 est une vue en coupe longitudinale d'une quatrième variante de micro-commutateur selon l'invention,

- la figure 6 est une vue en coupe longitudinale d'une cinquième variante de micro-commutateur selon l'invention,

5 - les figures 7A à 7H sont des vues en coupe longitudinale d'un procédé de réalisation du micro-commutateur selon la cinquième variante de l'invention.

#### 10 DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

Les figures 1 et 2 sont des vues en coupe, respectivement longitudinale et de dessus, d'une première variante de micro-commutateur selon l'invention. La figure 1 est une vue selon la coupe I-I de la figure 2 et la figure 2 est une vue selon la coupe II-II de la figure 1.

15 Le micro-commutateur est réalisé dans une partie isolante d'un substrat 1. Un évidement 2 a été réalisé à partir d'une face du substrat 1. La partie centrale du fond de l'évidement supporte deux pistes conductrices 3 et 4 à raccorder électriquement. Le fond de l'évidement supporte également des électrodes de commande inférieures 5 et 6 situées de part et d'autre des pistes conductrices 3 et 4 et dont les connexions  
20 électriques n'ont pas été représentées.

25 Les extrémités 13 et 14 des pistes conductrices 3 et 4 sont situées en regard l'une de l'autre. Elles sont formées sur un bossage présent sur le fond de l'évidement. Seul le bossage 7 est visible  
30 sur la figure 1.

Les électrodes de commande inférieures 5 et 6 supportent des plots en matériau isolant, respectivement 15 et 16. Ces plots isolants sont de faibles dimensions par rapport aux dimensions des électrodes.

Une poutre métallique 8, encastrée à ses deux extrémités, est suspendue au-dessus de l'évidement 2. Elle est située en regard des électrodes de commande inférieures 5 et 6 et des extrémités 13 et 14 des pistes conductrices 3 et 4. La poutre conductrice 8 constitue à la fois des électrodes de commande supérieures et un plot de contact ohmique pour les extrémités 13 et 14 des pistes conductrices.

Les plots isolants 15 ou 16 d'une même électrode de commande inférieure 5 ou 6 sont écartés entre eux d'une distance suffisamment faible pour éviter tout risque de déformation de la poutre 8 pouvant créer un court-circuit au niveau des électrodes de commande, c'est-à-dire entre la poutre conductrice 8 et l'électrode 5 d'une part et entre la poutre conductrice 8 et l'électrode 6 d'autre part. L'écart maximal entre deux plots isolants d'une même électrode de commande inférieure est établi en fonction de la hauteur des plots isolants, de la rigidité de la poutre et la tension électrique de commande.

La distance séparant la poutre conductrice 8 des extrémités 13 et 14 des pistes conductrices 3 et 4 est inférieure ou égale à la distance séparant les plots isolants 15 et 16 de la poutre conductrice 8.

Sous l'effet d'une tension de commande appropriée appliquée entre la poutre conductrice 8 et

les électrodes 5 et 6, la poutre 8 fléchit jusqu'à venir en contact avec les extrémités des pistes conductrices.

La figure 3 est une vue en coupe  
5 longitudinale d'une deuxième variante de micro-commutateur selon l'invention.

On reconnaît sur cette figure la partie isolante d'un substrat 21, un évidement 22, des électrodes de commande inférieures 25 et 26 pourvues de  
10 plots isolants respectivement 35 et 36, l'un des bossages 27 et l'une des extrémités 33 de pistes conductrices. Ces éléments sont similaires aux mêmes éléments de la première variante de micro-commutateur selon l'invention.

La deuxième variante de micro-commutateur  
15 selon l'invention se distingue de la première variante par la nature de la poutre 28 qui est en matériau isolant. La face de la poutre 28 tournée vers l'évidement 22 supporte un plot conducteur 38 situé en  
20 regard des extrémités des pistes conductrices et des électrodes de commande supérieures 48 et 58 associées respectivement aux électrodes de commande inférieures 25 et 26.

Sous l'effet d'une tension de commande  
25 appropriée appliquée entre les électrodes de commande supérieures 48 et 58 et les électrodes de commande inférieures 25 et 26, la poutre 28 fléchit jusqu'à ce que le plot conducteur 38 vienne en contact avec les extrémités des pistes conductrices.

30 La distance séparant le plot conducteur 38 des extrémités des pistes conductrices est inférieure

ou égale à la distance séparant les plots isolants 35 et 36 des électrodes respectives 48 et 58.

La figure 4 est une vue en coupe longitudinale d'une troisième variante de micro-commutateur selon l'invention.

On reconnaît sur cette figure, par rapport à la figure 3, la partie isolante d'un substrat 41, un évidement 42 et des électrodes de commande inférieures 45 et 46 pourvues de plots isolants respectivement 55 et 56. On reconnaît également une poutre 68 en matériau isolant dont la face tournée vers l'évidement supporte un plot conducteur 78 situé en regard des extrémités des pistes conductrices et des électrodes de commande supérieures 88 et 98 associées respectivement aux électrodes de commande inférieures 45 et 46.

La troisième variante de micro-commutateur selon l'invention se distingue de la deuxième variante en ce que les extrémités des pistes conductrices (seule l'extrémité 43 est montrée) ne sont pas formées sur des bossages mais sur le fond de l'évidement. Par contre, le plot conducteur 78 est en dépassement par rapport à la face de la poutre tournée vers l'évidement de sorte que la distance séparant le plot conducteur 78 des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les plots isolants 55 ou 56 de l'électrode de commande supérieure 88 ou 98.

Sous l'effet d'une tension de commande appropriée appliquée entre les électrodes de commande supérieures 88 et 98 et les électrodes de commande inférieures 45 et 46, la poutre 68 fléchit jusqu'à ce

que le plot conducteur 78 vienne en contact avec les extrémités des pistes conductrices.

La figure 5 est une vue en coupe longitudinale d'une quatrième variante de micro-commutateur selon l'invention.

On reconnaît sur cette figure, par rapport à la figure 3, la partie isolante d'un substrat 101, un évidement 102, des électrodes de commande inférieures 105 et 106 pourvues de plots isolants respectivement 115 et 116, l'un des bossages 107 et l'une des extrémités 103 de pistes conductrices. On reconnaît également une poutre 108 en matériau isolant dont la face tournée vers l'évidement supporte des électrodes de commande supérieures 118 et 128 associées respectivement aux électrodes de commande inférieures 105 et 106.

La quatrième variante de micro-commutateur selon l'invention se distingue de la deuxième variante en ce que la poutre isolante 108 intègre le plot conducteur 138. De ce fait, une fine couche isolante est interposée entre le plot conducteur 138 et les extrémités des pistes conductrices, le micro-commutateur étant du type capacitif.

Sous l'effet d'une tension de commande appropriée appliquée entre les électrodes de commande supérieures 118 et 128 et les électrodes de commande inférieures 105 et 106, la poutre 108 fléchit jusqu'à venir en contact mécanique avec les extrémités des pistes conductrices établissant ainsi une liaison de type capacitif entre les pistes conductrices.

La distance séparant la poutre 108 des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les plots isolants 115 et 116 des électrodes respectives 118 et 128.

5           La figure 6 est une vue en coupe longitudinale d'une cinquième variante de micro-commutateur selon l'invention.

On reconnaît sur cette figure, par rapport à la figure 3, la partie isolante d'un substrat 141, un  
10           évidement 142, des électrodes de commande inférieures 145 et 146 et l'une des extrémités 143 de pistes conductrices formées sur un bossage 147. On reconnaît également une poutre 148 en matériau isolant dont la face tournée vers l'évidement supporte un plot  
15           conducteur central 178 et des électrodes de commande supérieures 158 et 168 associées respectivement aux électrodes 145 et 146.

La cinquième variante de micro-commutateur selon l'invention se distingue de la deuxième variante  
20           en ce que les électrodes de commande inférieures 145 et 146 sont pourvues de plots respectivement 155 et 156 du même matériau que celui des électrodes. Les plots 155 et 156 sont provoqués par la présence de bossages, respectivement 153 et 154, prévus sur le fond de  
25           l'évidement. Les plots 155 et 156 sont répartis sur les électrodes 145 et 146 selon les mêmes critères que les plots isolants des variantes précédentes.

En vis-à-vis des plots 155 et 156, les électrodes de commande supérieures 158 et 168 sont  
30           percées d'ouvertures comblées de matériau diélectrique

formant des pastilles isolantes 157 et 167 afin d'éviter un éventuel court-circuit avec ces électrodes.

La distance séparant le plot conducteur 178 des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les plots 155 et 156 des pastilles isolantes respectives 157 et 167.

Les figures 7A à 7H sont des vues en coupe longitudinale d'un procédé de réalisation du micro-commutateur selon la cinquième variante de réalisation.

La figure 7A montre un substrat de silicium 100 recouvert d'une couche diélectrique 141 qui a été formée sur le substrat 100. La couche 141 peut être en  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou en  $\text{SiO}_2$  et avoir une épaisseur de 2,4  $\mu\text{m}$ .

La couche 141 est micro-usinée par lithogravure pour former à sa surface un bossage central 147 compris entre d'autres bossages 153 et 154 (voir la figure 7B). Un seul bossage 153 et un seul bossage 154 sont représentés. La hauteur des bossages peut être de 0,3  $\mu\text{m}$ , ce qui réduit l'épaisseur de la couche 141 à 2,1  $\mu\text{m}$ .

La couche 141 pourvue de ses bossages est encore micro-usinée par lithogravure pour réaliser un évidement 142 comme le montre la figure 7C. Les bossages 147, 153 et 154 sont reportés au fond de l'évidement 142. La profondeur de l'évidement peut être de 0,5  $\mu\text{m}$ . Cette même étape de lithogravure permet de réaliser des logements (non représentés) destinés à recevoir des connexions électriques aux futures électrodes de commande inférieures, aux pistes conductrices et pour le plan de masse.

Les pistes conductrices et les électrodes de commande inférieures sont ensuite réalisées par dépôt d'une couche métallique (par exemple en or, en cuivre ou en aluminium) suivi d'une lithogravure. La figure 7D montre l'une des extrémités 143 d'une piste conductrice, formée sur le bossage 147 et les électrodes de commande inférieures 145 et 146. L'électrode 145 comprend des plots 155 reproduisant la forme des bossages 153. L'électrode 146 comprend des plots 156 reproduisant la forme des bossages 154. L'épaisseur de l'extrémité 143 peut être de 1,2  $\mu\text{m}$ . L'épaisseur des électrodes de commande inférieures peut être de 0,9  $\mu\text{m}$ .

Une couche sacrificielle 150, par exemple en polyimide, est ensuite déposée dans l'évidement 142. La couche 150 est planarisée jusqu'à atteindre la face supérieure de la couche 141 comme le montre la figure 7E.

Une première couche diélectrique 148', par exemple en  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou en  $\text{SiO}_2$ , est ensuite déposée sur la surface planarisée de la structure précédente (voir la figure 7F). Cette première couche diélectrique peut faire 0,15  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. Cette couche est lithographiée aux endroits prévus pour l'emplacement des électrodes de commande supérieures et du plot conducteur.

Une couche métallique (par exemple en or sur une couche d'accrochage en Cr, en cuivre ou en aluminium) est ensuite déposée sur la première couche diélectrique 148'. Par lithogravure de cette couche, ou réalise les électrodes de commande supérieures 158 et 168 et le plot conducteur 178. C'est ce que montre la

figure 7G. Les connexions électriques avec ces éléments conducteurs sont réalisées lors de la même opération.

Une deuxième couche diélectrique 148" est déposée sur la structure obtenue précédemment comme le montre la figure 7H. Par lithogravure, des ouvertures (non représentées) sont réalisées dans l'épaisseur des deux couches diélectriques 148' et 148" pour révéler la couche sacrificielle 150 et pour la reprise de contact sur les électrodes.

La couche sacrificielle est alors éliminée par gravure sélective à partir d'ouvertures réalisées précédemment. On obtient la structure représentée à la figure 6 où la partie isolante de la poutre est représentée sous la référence globale 148.

L'invention permet de limiter à des zones très réduites (les butées d'isolation) le piégeage des charges et donc l'effet de collage. Elle permet d'éviter tout risque de court-circuit entre électrodes de commande du fait de la présence de ces butées d'isolation. Elle assure un bon contact du micro-commutateur du fait que la distance séparant les moyens déformables des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les butées d'isolation associées aux électrodes de commande des électrodes de commande situées en vis-à-vis.

La vitesse de commutation des micro-commutateurs est fonction de l'amortissement visqueux de la poutre (ou de la membrane). Cet amortissement est inversement proportionnel à la distance (ou entrefer) entre la poutre et les pistes conductrices et électrodes de commande inférieures et est aussi

inversement proportionnel aux surfaces en regard. Ainsi, plus la poutre fléchie et se rapproche des pistes à commuter, plus l'amortissement augmente et tend à retenir le déplacement. Ce qui se traduit par  
5 une augmentation du temps de commutation. Dans le cas de la présente invention, les zones où l'amortissement est important (zone d'entrefer faible) se limitent aux butées (sur les électrodes d'actionnement) et aux bossages (au niveau du contact). Les surfaces en jeu  
10 sont par conséquent extrêmement réduites par rapport aux micro-commutateurs MEMS de l'état de l'art. Le temps de commutation sera par conséquent optimisé.

**REVENDICATIONS**

1. Micro-commutateur électrostatique destiné à raccorder électriquement au moins deux pistes électriquement conductrices (3, 4) disposées sur un support isolant (1, 21, 41, 101, 141), le raccord électrique entre les deux pistes conductrices se faisant par des moyens conducteurs (38, 78, 138, 178) prévus en partie centrale de moyens déformables (8, 28, 68, 108, 148) aptes à se déformer par rapport au support, sous l'action d'une force électrostatique générée par des électrodes de commande réparties en vis-à-vis sur les moyens déformables et le support pour former des moyens capacitifs autour desdits moyens conducteurs, lesdits moyens conducteurs réalisant le raccord électrique entre les deux pistes conductrices lorsque les moyens déformables sont déformés jusqu'à venir en contact avec les extrémités (13, 14 ; 33 ; 43 ; 103 ; 143) des pistes conductrices, caractérisé en ce que :
- l'électrode ou les électrodes de commande sur le support (5, 6 ; 25, 26 ; 45, 46 ; 105, 106 ; 145, 146) ou l'électrode ou les électrodes de commande sur les moyens déformables (48, 58 ; 88, 98 ; 118, 128 ; 158, 168) est (sont) associée(s) à des butées d'isolation prévues pour éviter tout court-circuit entre électrodes desdits moyens capacitifs au cours de la déformation des moyens déformables,
  - la distance séparant les moyens déformables des extrémités des pistes conductrices est inférieure ou égale à la distance séparant les butées

d'isolation associées à une électrode ou aux électrodes de commande de l'électrode ou des électrodes de commande située(s) en vis-à-vis,

5 - les butées d'isolation sont des parties proéminentes (155, 156) d'une électrode ou d'électrodes de commande (145, 146) située(s) en regard de parties isolantes (157, 167) situées au sein ou près d'une électrode ou d'électrodes de commande (158, 168) en vis-à-vis.

10

2. Micro-commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens déformables sont choisis parmi une membrane et une poutre (8, 28, 68, 108, 148).

15

3. Micro-commutateur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens déformables (8) sont en matériau conducteur et constituent une électrode de commande et les moyens conducteurs.

20

4. Micro-commutateur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens déformables (28, 68, 108, 148) sont en matériau isolant et supportent des parties conductrices pour constituer une électrode ou des électrodes de commande (48, 58 ; 88, 98 ; 118, 128 ; 158, 168) et un plot conducteur (38, 78, 138, 178) pour constituer lesdits moyens conducteurs.

30

5. Micro-commutateur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que chaque extrémité de piste conductrice est formée sur un bossage (7, 27, 107, 147) du support.

5

6. Micro-commutateur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdits moyens conducteurs (78) sont en dépassement par rapport aux moyens déformables (68).

10

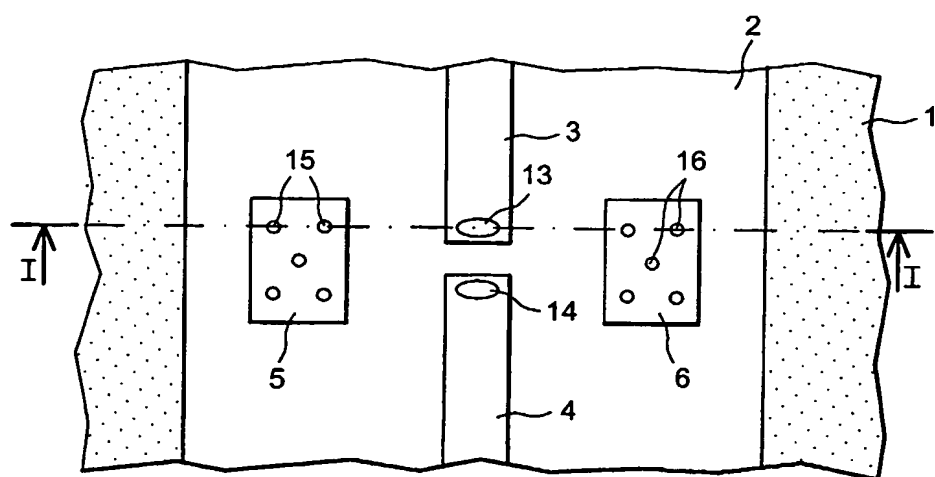
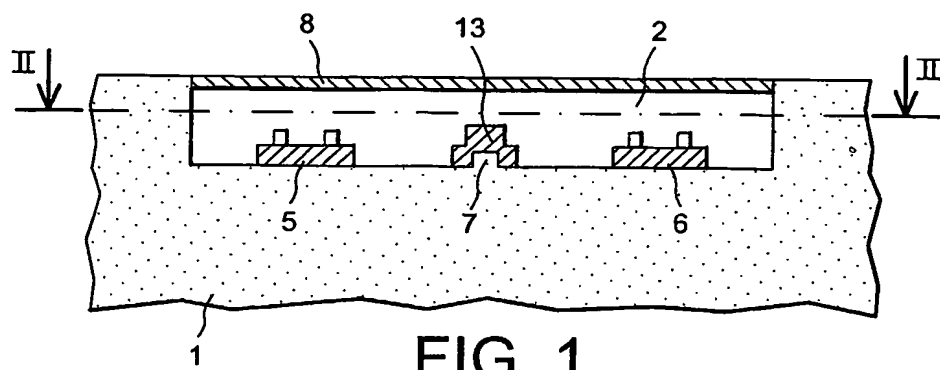
7. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, le micro-commutateur étant du type à contact ohmique, les moyens conducteurs (38, 78, 178) sont aptes à être mis directement en contact électrique avec les extrémités des pistes conductrices.

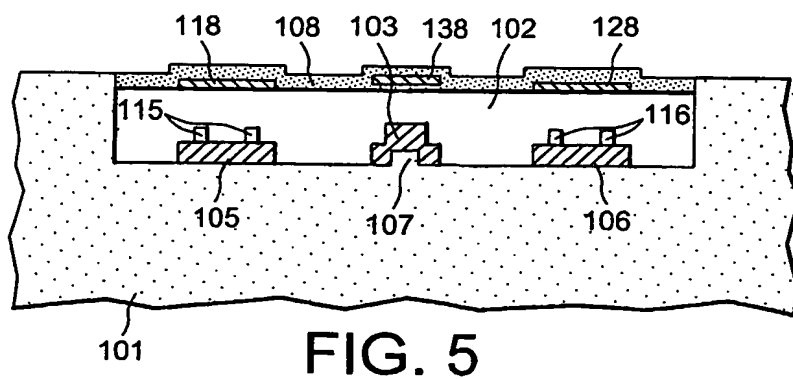
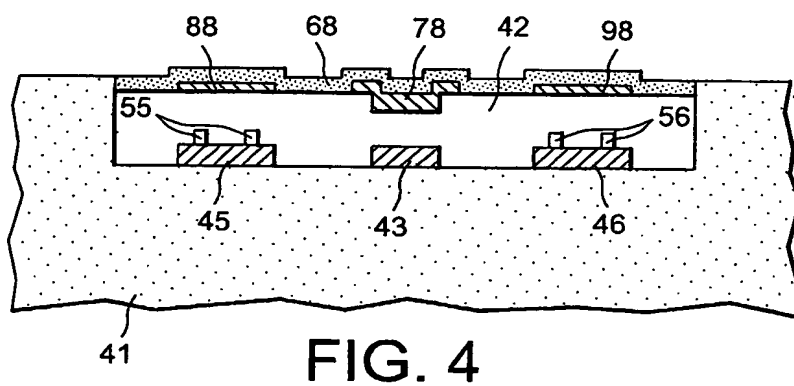
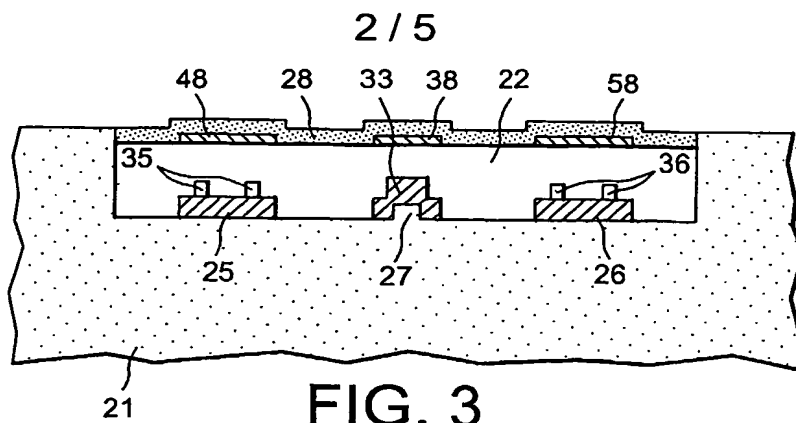
15

8. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, le micro-commutateur étant à contact capacitif, une couche de matériau isolant est interposée entre les moyens conducteurs (138) et les extrémités des pistes conductrices.

20

1 / 5





3 / 5

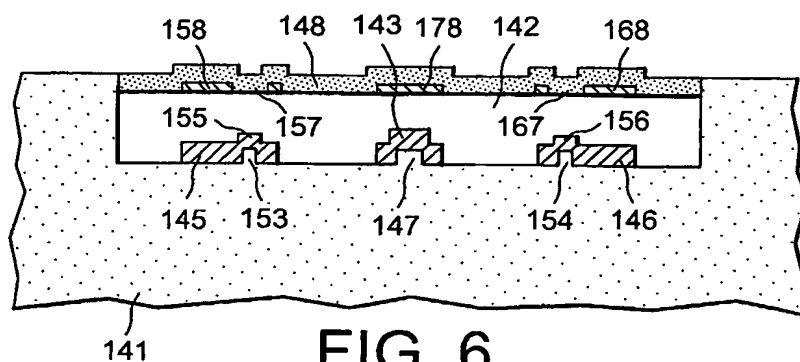


FIG. 6

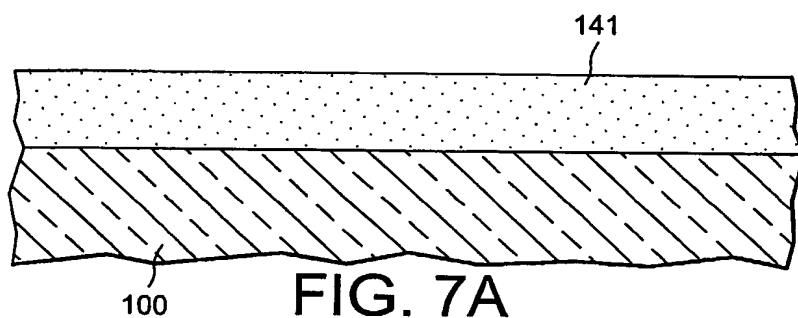


FIG. 7A

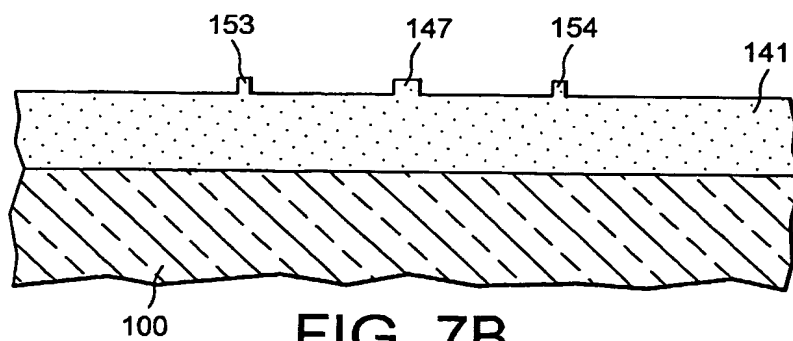


FIG. 7B

4 / 5

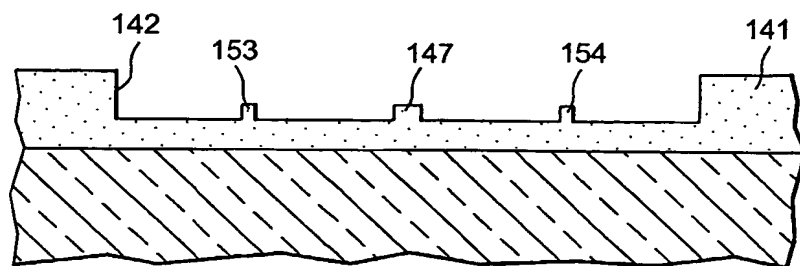


FIG. 7C

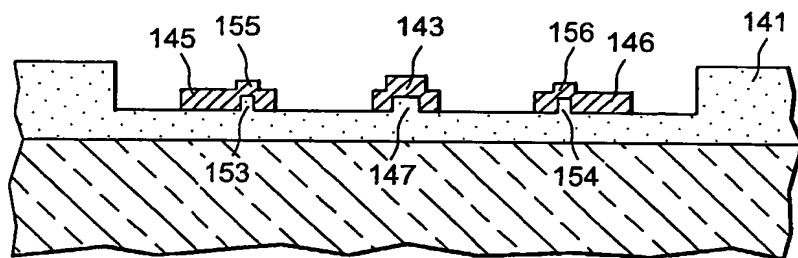


FIG. 7D

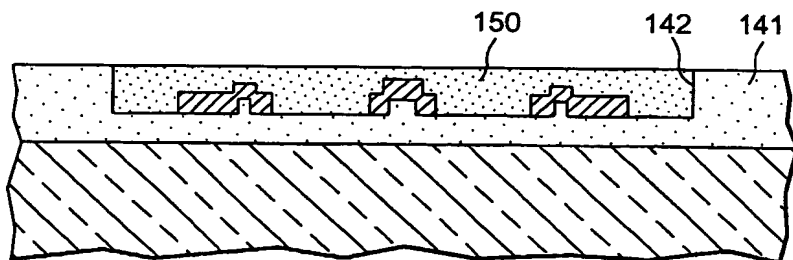


FIG. 7E

5 / 5

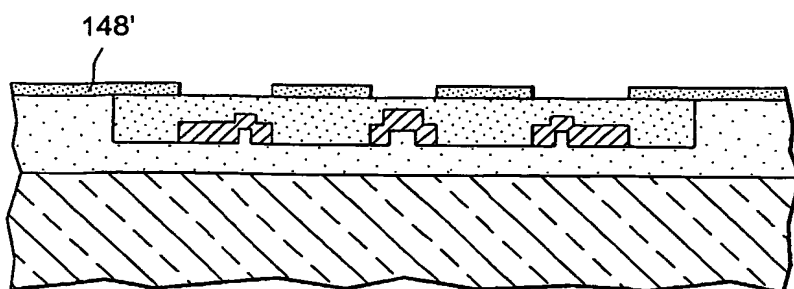


FIG. 7F

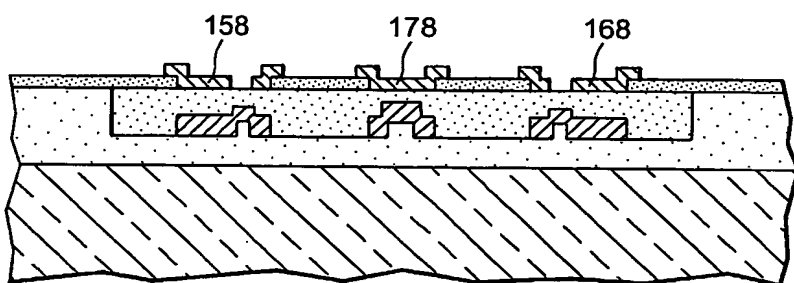


FIG. 7G

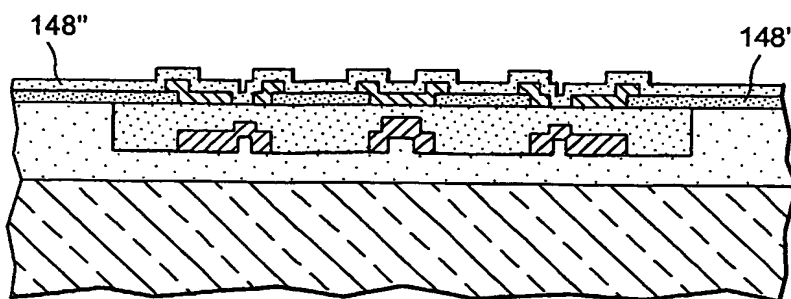


FIG. 7H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/50137

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01H59/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01H B81B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 307 169 B1 (SUN XI-QING ET AL) 23 October 2001 (2001-10-23) column 4, line 4 - line 44 ---	1-8
A	US 2002/005341 A1 (SEKI TOMONORI) 17 January 2002 (2002-01-17) abstract ---	1-8
A	DE 198 00 189 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 22 July 1999 (1999-07-22) column 11, line 61 -column 12, line 25 --- -/--	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 Apr11 2004

Date of mailing of the international search report

19/04/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Libberecht, L

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/50137

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>YAO J J: "RF MEMS from a device perspective" JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING, DEC. 2000, IOP PUBLISHING, UK, vol. 10, no. 4, December 2000 (2000-12), pages R9-38, XP002255008 ISSN: 0960-1317 cited in the application abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>YAO J J ET AL: "A SURFACE MICROMACHINES MINIATURE SWITCH FOR TELECOMMUNICATIONS APPLICATIONS WITH SIGNAL FREQUENCES FROM DC UP TO 4 GHZ" INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS AND EUROSensors, XX, XX, vol. 2, 25 June 1995 (1995-06-25), pages 384-387, XP000646268 cited in the application abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>PONCHAK G E ET AL: "FINITE GROUND COPLANAR WAVEGUIDE SHUNT MEMS SWITCHES FOR SWITCHED LINE PHASE SHIFTERS" 30TH EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE PROCEEDINGS. PARIS, OCT. 3 - 5, 2000, PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE, LONDON: CMP, GB, vol. 1 OF 3 CONF. 30, 3 October 2000 (2000-10-03), pages 252-255, XP001060741 cited in the application abstract</p> <p>---</p>	1
A	<p>T-C NGUYEN C: "COMMUNICATIONS APPLICATIONS OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS" SENSORS EXPO 1998, 19 May 1998 (1998-05-19), pages 447-455, XP002190275 san jose Retrieved from the Internet: &lt;URL:http://www.eecs.umich.edu/{ctnguyen/s e98.pdf}&gt; 'retrieved on 2002-02-14! cited in the application page 452, right-hand column, last paragraph</p> <p>-----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/50137

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6307169	B1	23-10-2001	NONE	
US 2002005341	A1	17-01-2002	JP 2000164104 A	16-06-2000
DE 19800189	A	22-07-1999	DE 19800189 A1	22-07-1999

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De l'Organisation Mondiale de l'Intellectuelle No

PCT/FR 03/50137

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H01H59/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01H 881B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 307 169 B1 (SUN XI-QING ET AL) 23 octobre 2001 (2001-10-23) colonne 4, ligne 4 - ligne 44 ---	1-8
A	US 2002/005341 A1 (SEKI TOMONORI) 17 janvier 2002 (2002-01-17) abrégé ---	1-8
A	DE 198 00 189 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 22 juillet 1999 (1999-07-22) colonne 11, ligne 61 -colonne 12, ligne 25 --- -/--	1-8

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

8 avril 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

19/04/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Libberecht, L

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dépôt de Internationale No

PCT/FR 03/50137

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>YAO J J: "RF MEMS from a device perspective" JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING, DEC. 2000, IOP PUBLISHING, UK, vol. 10, no. 4, décembre 2000 (2000-12), pages R9-38, XP002255008 ISSN: 0960-1317 cité dans la demande abrégé</p>	1
A	<p>YAO J J ET AL: "A SURFACE MICROMACHINES MINIATURE SWITCH FOR TELECOMMUNICATIONS APPLICATIONS WITH SIGNAL FREQUENCES FROM DC UP TO 4 GHZ" INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS AND EUROSensors, XX, XX, vol. 2, 25 juin 1995 (1995-06-25), pages 384-387, XP000646268 cité dans la demande abrégé</p>	1
A	<p>PONCHAK G E ET AL: "FINITE GROUND COPLANAR WAVEGUIDE SHUNT MEMS SWITCHES FOR SWITCHED LINE PHASE SHIFTERS" 30TH EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE PROCEEDINGS. PARIS, OCT. 3 - 5, 2000, PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE, LONDON: CMP, GB, vol. 1 OF 3 CONF. 30, 3 octobre 2000 (2000-10-03), pages 252-255, XP001060741 cité dans la demande abrégé</p>	1
A	<p>T-C NGUYEN C: "COMMUNICATIONS APPLICATIONS OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS" SENSORS EXPO 1998, 19 mai 1998 (1998-05-19), pages 447-455, XP002190275 san jose Extrait de l'Internet: &lt;URL:http://www.eecs.umich.edu/{ctnguyen/s e98.pdf}&gt; 'extrait le 2002-02-14! cité dans la demande page 452, colonne de droite, dernier alinéa</p>	1

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/50137

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6307169	B1	23-10-2001	AUCUN	
US 2002005341	A1	17-01-2002	JP 2000164104 A	16-06-2000
DE 19800189	A	22-07-1999	DE 19800189 A1	22-07-1999

5/PKTS

ELECTROSTATIC MICROSWITCH FOR COMPONENTS WITH LOW  
ACTUATING VOLTAGE

## DESCRIPTION

## 5 TECHNICAL FIELD

The invention relates to an electrostatic microswitch with high operational reliability adapted to low actuating voltage components. The term microswitch refers to the micro-relays, the MEMS  
10 (Micro-Electro-Mechanical-System) type actuators and the high frequency actuators.

## BACKGROUND OF THE INVENTION

The article "RF MEMS from a device perspective" by  
15 J. Jason Yao, published in J. Micromech. Microeng. 10 (2000), pages R9 to R38, summarises recent developments made in the field of MEMS for high frequency applications.

The following specifications are required of the  
20 high frequency or RF components for mobile telephony:

- power supply voltage of less than 5 V,
- insulation of over 30 dB,
- insertion loss of less than 0.3 dB,
- reliability for a number of cycles over  $10^9$ ,
- 25 - dimensions of less than  $0.05 \text{ mm}^2$ .

The microswitches are widely used in the field of communications: for signal routing, impedance tuning networks, amplifier gain adjusting, and so on. With regard to the frequency bands of the signals to be  
30 switched, these frequencies consist of between a few MHz and several dozen GHz.

Usually, for these RF circuits, micro-electronic switches are used, as their production cost is low and as they enable integration with the circuit electronics. In terms of performance, these components are, however, relatively limited. Hence, FET-type silicon switches can switch high-power signals at low frequencies but not at high frequencies. The MESFET-type GaAs switches or the PIN diodes operate well at high frequencies but only for low-level signals. Finally, generally speaking, beyond 1 GHz, all of the microelectronic switches show a high insertion loss (usually around 1 to 2 dB) during the conducting state and relatively low insulation during the non-conducting state (-20 to - 25 dB). The replacement of conventional components with MEMS microswitches is consequently promising for this type of application.

On account of their design and operating principle, the MEMS switches have the following characteristics:

- low insertion loss (typically less than 0.3 dB),
- high insulation from Mhz to millimeters (typically greater than -30 dB),
- low consumption,
- no non-linearity of response.

25

There are two types of contact for these MEMS microswitches.

One of these contact types is the ohmic contact switch described in the abovementioned article "RF MEMS from a device perspective" by J. Jason Yao and in the

30

article "A Surface Micromachined Miniature Switch For Telecommunications Applications with Signal Frequencies From DC up to 4 GHz" by J. Jason Yao and M. Franck Chang, published in the Transducers '95 review, 5 Eurosensors IX, pages 384 to 387. In this type of contact, the two RF strips are brought into contact by means of a short-circuit (metal to metal contact). This type of contact is just as adapted to DC signals as it is to high frequency signals (over 10 GHz).

10

The other type of contact is the capacitive switch described in the abovementioned article "RF MEMS from a device perspective" by J. Jason Yao and in the article "Finite Ground Coplanar Waveguide Shunt MEMS Switches 15 for Switched Line Phase Shifters" by George E. Ponchak et al., published in the 30th European Microwave Conference, Paris 2000, pages 252 to 254. In this type of contact, a layer of air is electromechanically adapted to obtain a capacity variation between the 20 conducting state and the non-conducting state. This type of contact is particularly well adapted to high frequencies (over 10 GHz) but is inadequate at low frequencies.

In the state of the art, there are two main 25 actuating principles for MEMS switches: thermally actuated switches and electrostatically actuated switches.

Thermally actuated switches have the advantage of being of low actuating voltage. On the other hand, they 30 have the following disadvantages: Excessive consumption (especially in the case of mobile telephony

applications), a low switching rate (due to thermal inertia) and technology that is often complicated.

Electrostatically actuated switches have the  
5 advantage of a high switching rate and relatively straightforward technology. On the other hand, they are disadvantaged by problems resulting from their low reliability coefficient. This point particularly critical in the case of electrostatic microswitches  
10 with low actuating voltage (structural binding possible).

The electrostatic actuating switch binding issue is crucial. This issue is deliberated in the  
15 abovementioned article by George E. Ponchak et al. and in the article "Communications Applications of Microelectromechanical Systems" by Clark T. - C. Nguyen published in Proceedings, 1998 Sensors Expo, San Jose, CA, 19 to 21 May 1998, pages 447 to 455.

20

The state of the art electrostatic microswitches have a mobile actuating electrode isolated from the fixed electrode by means of a dielectric layer to avoid short-circuits during microswitch switchover. This  
25 dielectric layer, included in the mobile actuating capacity is never perfect. It has faults which give rise to trapping of charges in the layer. These charges that accumulate in the dielectric may eventually lead to a fault in the component (binding of the beam or the  
30 need for increasing amounts of actuating voltage during the course of the switching cycles).

This phenomenon is heightened in the case of microswitches of low actuating voltage, whereby to obtain the switching voltages generally required (usually greater than or equal to 5 volts), the designers use mobile structures with low mechanical stiffness, which is to say an elastic restoring force which proves to be insufficient with regard to the spurious electrostatic forces brought about by this trapping of charges phenomenon, and which very often leads to the binding of microswitches after between  $10^4$  and  $10^5$  cycles, or well below the generally required specifications (more than  $10^9$  cycles).

A simple way in which to avoid charge trapping would be to use a metal beam. There would consequently be a high risk of a short circuit in this beam on the actuating electrode, namely in the case of microswitches with low switchover voltage that are of low mechanical stiffness. To solve this short circuit problem, we could consider fitting small dielectric stop elements on the actuating electrodes, as the charge trapping restricted to the stop elements should not disrupt operation of the microswitch. Herein, the problem lies in the high risk of the beam coming into contact with the stop element, preventing contact with the strip conductors to be connected.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention has been designed to remedy the inconveniences manifested with the prior devices of

the art.

The purpose is to produce an electrostatic microswitch which is intended to connect electrically  
5 to at least two strip conductors which are placed on an insulating support, the two strip conductors are connected electrically by conducting means which are provided in the central part of deformable means which can be deformed in relation to the support, under the  
10 impact of an electrostatic force generated by control electrodes distributed facing one another on the deformable means and the support, such as to form capacitive means around the aforementioned conducting means, said conductive means performing the electrical  
15 connection between the two strip conductors when the deformable means are deformed until they are brought into contact with the ends of the strip conductors, characterized in that:

- the one or several control electrode(s) on the  
20 support or the one or several control electrode(s) on the deformable means is or are associated with insulating stop elements provided in order to prevent a short-circuit between electrodes of said capacitive means during deformation of the deformable means,

25 - the distance between the deformable means and the ends of the strip conductors is less than or equal to the distance between the insulating stop elements associated with the one or several control electrode(s) of the one or several control electrode(s) located  
30 opposite.

The deformable means may be selected amongst a membrane and a beam.

5 According to a first fabrication alternative, the deformable means are made of a conductive material and constitute a control electrode and the conductive means.

10 According to a second fabrication alternative, the deformable means are made of an insulating material and support the conducting parts to constitute one or several control electrode(s) and a conductive stud to constitute said conductive means.

15 Each end of the strip conductor end may be formed on a projection of the support.

The conductive means may be protruding in relation to the deformable means.  
20

The insulating stop elements may be pads made of an insulating material supported by one or several control electrode(s).

25 The insulating stop elements may be protruding parts of the one or several control electrode(s) located opposite insulating parts located in or close to one or several control electrode(s) facing one another.

30 If the microswitch is of ohmic contact type, the conductive means can directly electrically contact the

strip conductor ends.

If the microswitch is of capacitive contact type,  
an insulating material layer is interposed between the  
5 conductive means and the strip conductor ends.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The overall view of the invention will become more  
clear and other aspects and advantages of the invention  
10 will become apparent from the following description,  
given by way of a non-limitative example, with the  
accompanying drawings in which:

- Figures 1 and 2 are sectional views, longitudinal  
and from above, respectively, of a first alternative of  
15 the microswitch described in the invention,

- figure 3 is a longitudinal, cross-sectional view  
of a second alternative of the microswitch as described  
in the invention,

- figure 4 is a longitudinal, cross-sectional view  
20 of a third alternative of the microswitch as described  
in the invention,

- figure 5 is a longitudinal, cross-sectional view  
of a fourth alternative of the microswitch as described  
in the invention,

25 - figure 6 is a longitudinal, cross-sectional view  
of a fifth alternative of the microswitch as described  
in the invention,

- figures 7A to 7H are longitudinal, cross-  
sectional views of a fabrication method of the  
30 microswitch according to the fifth alternative of the  
invention,

DETAILED DESCRIPTION OF EMBODIMENTS OF THE INVENTION

Figures 1 and 2 are sectional views, longitudinal and from above, respectively, of a first alternative of the microswitch described in the invention. Figure 1 is a view of section I-I of figure 2 and figure 2 is a view of section II-II of figure 1.

The microswitch is made in an insulating part of a substrate 1. A recess 2 has been made in one of the faces of substrate 1. The central part of the bottom of the recess supports two electrically connected strip conductors 3 and 4. The bottom of the recess also supports lower control electrodes 5 and 6 located on each side of the strip conductors 3 and 4, and of which the electrical connections have not been shown.

The ends 13 and 14 of the strip conductors 3 and 4, are located opposite one another. They are formed on a projection on the bottom of the recess. Only projection 7 is shown in figure 1.

The lower control electrodes 5 and 6 support pads made of an insulating material, 15 and 16 respectively. These insulating pads are small in comparison to the size of the electrodes.

A metal beam 8, embedded at both of its ends, is suspended above recess 2. It is located opposite the lower control electrodes 5 and 6 and the ends 13 and 14 of the strip conductors 3 and 4. The conductive beam 8

constitutes the upper control electrodes as well as an ohmic contact stud for strip conductor ends 13 and 14.

5 The distance between insulating pads 15 or 16 of a same lower control electrode 5 or 6 is short enough to avoid any risk of deformation of the beam 8 that may cause a short circuit in the control electrodes, that is to say between the conductive beam 8 and the electrode 5 on one hand, and between the conductive  
10 beam 8 and electrode 6 on the other hand. The maximum distance between two insulating pads of one same lower control electrode is established according to the height of the insulating pads, the rigidity of the beam and the control voltage.

15

The distance between the conductive beam 8 of the ends 13 and 14 of the strip conductors 3 and 4 is less than or equal to the distance between the insulating pads 15 and 16 of the conductive beam 8.

20

Under the effect of an appropriate control voltage applied between the conductive beam 8 and the electrodes 5 and 6, the beam 8 flexes until it comes into contact with the strip conductor ends.

25

Figure 3 is a longitudinal, cross-sectional view of a second alternative of the microswitch as described in the invention.

30

Shown in this figure are the insulating part of a substrate 21, a recess 22, lower control electrodes 25

and 26 fitted with insulating pads 35 and 36 respectively, one of the projections 27 and one of the strip conductor ends 33. These elements are similar to the same elements of the first alternative of the microswitch as described in the invention.

The second alternative of the microswitch according to the invention differs from the first alternative in that the nature of the beam 28 is made of an insulating material. The face of the beam 28 turned towards the recess 22 supports a conductive stud 38 located opposite the strip conductor ends and the upper control electrodes 48 and 58 respectively associated with the lower control electrodes 25 and 26.

Under the effect of an appropriate control voltage applied between the upper control electrodes 48 and 58 and the lower control electrodes 25 and 26, the beam 28 flexes until the conductive stud 38 comes into contact with the strip conductor ends.

The distance between the conductive stud 38 and the strip conductor ends is less than or equal to the distance between the insulating pads 35 and 36 and the respective electrodes 48 and 58.

Figure 4 is a longitudinal, cross-sectional view of a third alternative of the microswitch as described in the invention.

In this figure, in relation to figure 3, we can see

the insulating part of a substrate 41, a recess 42 and lower control electrodes 45 and 46 fitted with insulating pads 55 and 56 respectively. Also shown is a beam 68 made of an insulating material, of which the face turned towards the recess supports a conductive stud 78 located opposite strip conductor ends and upper control electrodes 88 and 98 respectively associated with the lower control electrodes 45 and 46.

The third alternative of the microswitch according to the invention differs from the second alternative in that the strip conductor ends (only end 43 is shown) are not formed on the projections but on the bottom of the recess. However, the conductive stud 78 is protruding in relation to the face of the beam turned towards the recess such that the distance between the conductive stud 78 and the strip conductor ends is less than or equal to the distance between the insulating pad 55 or 56 of the upper control electrode 88 or 98.

Under the effect of an appropriate control voltage applied between the upper control electrodes 88 and 98 and the lower control electrodes 45 and 46, the beam 68 flexes until the conductive stud 78 comes into contact with the strip conductor ends.

Figure 5 is a longitudinal, cross-sectional view of a fourth alternative of the microswitch as described in the invention.

In this figure, in relation to figure 3, we can see

the insulating part of a substrate 101, a recess 102, lower control electrodes 105 and 106 fitted with insulating pads 115 and 116 respectively, one of the projections 107 and one of the strip conductor ends 5 103. Also shown is a beam 108 made of an insulating material, of which the face turned towards the recess supports upper control electrodes 118 and 128 respectively associated with the lower control electrodes 105 and 106.

10

The fourth alternative of the microswitch according to the invention differs from the second alternative in that the insulating beam 108 integrates the conductive stud 138. Thereby, a thin insulating material layer is 15 interposed between the conductive stud 138 and the strip conductor ends, the microswitch being of a capacitive type.

Under the effect of an appropriate control voltage 20 applied between the upper control electrodes 118 and 128 and the lower control electrodes 105 and 106, the beam 108 flexes until it comes into mechanical contact with the strip conductor ends, thereby establishing a capacitive type connection between the strip 25 conductors.

The distance between the beam 108 and the strip conductor ends is less than or equal to the distance between the insulating pads 115 and 116 of the 30 respective electrodes 118 and 128.

Figure 6 is a longitudinal, cross-sectional view of a fifth alternative of the microswitch as described in the invention.

5        In this figure, in relation to figure 3, we can see the insulating part of a substrate 141, a recess 142, lower control electrodes 145 and 146 and one of the strip conductor ends 143 formed on a projection 147. Also shown is a beam 148 made of an insulating  
10 material, of which the face turned towards the recess supports a central conductive stud 178 and upper control electrodes 158 and 168 respectively associated with electrodes 145 and 146.

15        The fifth alternative of the microswitch according to the invention differs from the second alternative in that the lower control electrodes 145 and 146 are fitted with pads 155 and 156 respectively, made of the same material as that of the electrodes. Pads 155 and  
20 156 are formed as a result of the presence of projections 153 and 154 respectively, on the bottom of the recess. Pads 155 and 156 are distributed across electrodes 145 and 146 according to the same criteria as the insulating pad of the prior alternatives.

25

      Opposite pads 155 and 156, the upper control electrodes 158 and 168 are pierced with openings filled in with dielectric material forming insulating patches 157 and 167 so as to prevent any short circuits from  
30 occurring with these electrodes.

The distance between the conductive stud 178 and the strip conductor ends is less than or equal to the distance between the pads 155 and 156 of the respective insulating patches 157 and 167.

5

Figures 7A to 7H are longitudinal, cross-sectional views of a fabrication method of the microswitch according to the fifth fabrication alternative.

10 Figure 7A shows a silicon substrate 100 covered with a dielectric layer 141 formed on substrate 100. Layer 141 may be 2.4  $\mu\text{m}$  in thickness and consist of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  or  $\text{SiO}_2$ .

15 Layer 141 is micromachined by lithographic etching to form a central projection 147 on its surface in between the other projections 153 and 154 (see figure 7B). Only one projection 153 and one projection 154 are shown. The projections may be 0.3  $\mu\text{m}$  in height, thereby  
20 reducing the thickness of the layer 141 to 2.1  $\mu\text{m}$ .

A layer 141 with projections is also lithographically micro-machined to create a recess 142 as shown in figure 7C. Projections 147, 153 and 154 are  
25 transferred onto the bottom of the recess 142. The recess may be 0.5  $\mu\text{m}$  in depth. In this same lithographic etching phase, grooves (not shown) are formed to accommodate the electrical connections for the future lower control electrodes, the strip  
30 conductors and for the ground plane.

The conductive strips and the lower control electrodes are then fabricated by means of a layer of metal (for example, gold, copper or aluminium), followed by a lithographic etching. Figure 7D shows one  
5 of the ends 143 of a strip conductor, formed on the projection 147 and the lower control electrodes 145 and 146. The electrode 145 includes pads 155 reproducing the form of the projections 153. The electrode 146 includes pads 156 reproducing the form of the  
10 projections 154. The thickness of the end 143 may be 1.2  $\mu\text{m}$ . The thickness of the lower control electrodes may be 0.9  $\mu\text{m}$ .

A sacrifice layer 150, of polyimide for example, is  
15 then deposited in recess 142. The layer 150 is planarised until it reaches the upper face of the layer 141 as shown in figure 7E.

A first dielectric layer 148', of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  or  $\text{SiO}_2$  for  
20 example, is then deposited on the planarised surface of the previous structure (see figure 7F). This first dielectric layer may be 0.15  $\mu\text{m}$  in thickness. The appropriate areas of this layer are lithographically etched to accommodate the upper control electrodes and  
25 the conductive stud.

A metal layer (for example gold on an adhesion layer surface of Cr, copper or aluminium) is then deposited on the first dielectric layer 148'. By  
30 lithographically etching this layer, the upper control electrodes 158 and 168 and the conductive stud 178 are

formed. This is shown in figure 7G. The electrical connections with these conductive elements are made during the course of the same procedure.

5        A second dielectric layer 148" is deposited on the previously obtained structure as shown in figure 7H. By lithographic etching, openings (not shown) are formed in the thickness of the two dielectric layers 148' and 148" to reveal the sacrifice layer 150 and to recover  
10       the contact with the electrodes.

      The sacrifice layer is thus eliminated by means of selective etching through the previously formed openings. The structure shown in figure 6 is thereby  
15       obtained, in which the insulating part of the beam is shown under the general reference 148.

      The invention limits the trapping of charges and hence the bonding effect to very restricted areas  
20       (insulating stop elements). It prevents any risk of short circuits between the control electrodes owing to the presence of these insulating stop elements. It ensures good connection of the microswitch as a result of the distance between the deformable means and the  
25       ends of the strip conductors being less than or equal to the distance between the insulating stop elements associated with the control electrodes and the control electrodes located opposite.

30       The microswitch switchover speed is a function of the viscous damping of the beam (or the membrane). This

damping is inversely proportional to the distance (or air gap) between the beam and the strip conductors and lower control electrode, and also inversely proportional to the surfaces opposite. Hence, the more  
5 the beam flexes and moves closer to the conductors to be switched, the more the damping increases and tends to retain movement. This results in an increase in transit time. In the case of the present invention, the areas in which there is much damping (narrow air gap)  
10 are limited to the stop elements (on the actuating electrodes) and to the projections (at contact). The surfaces in question are consequently extremely reduced in comparison to the state of the art MEMS microswitches. The switching time is consequently  
15 optimised.

## CLAIMS

1. An electrostatic microswitch intended to electrically connect at least two electrical strip conductors (3, 4) disposed on an insulating support (1, 21, 41, 101, 141), the two strip conductors being connected electrically by conducting means (38, 78, 138, 178) provided in the central part of deformable means (8, 28, 68, 108, 148) which can be deformed in relation to the support under the effect of an electrostatic force generated by control electrodes which are distributed facing one another on the deformable means and the support, so as to form capacitive means around said conducting means, said conductive means performing the electrical connection between the two strip conductors when the deformable means are deformed to contact the ends (13, 14; 33; 43; 103; 143) of the strip conductors, characterized in that:

- the control electrode or the control electrodes on the support (5, 6; 25, 26; 45, 46; 105, 106; 145, 146) or the control electrode or control electrodes on the deformable means (48, 58; 88, 98; 118, 128; 158, 168) is or are associated with insulating stop elements provided in order to prevent a short-circuit between electrodes of said capacitive means during the deformation of the deformable means,

- the distance between the deformable means and the ends of the strip conductors is less than or equal to the distance between the insulating stop elements associated with a control electrode or control electrodes of the control electrode or the control

electrodes facing one another,

- the insulating stop elements are protruding parts (155, 156) of the control electrode(s) (145, 146) located opposite insulating parts (157, 167) located in  
5 or close to a control electrode or control electrodes (158, 168) facing one another.

2. A microswitch according to claim 1, characterized in that the deformable means are selected amongst a membrane and a beam (8, 28, 68, 108, 148).

10 3. A microswitch according to any of claims 1 or 2, characterized in that the deformable means (8) are made of a conductive material and constitute a control electrode and the conductive means.

4. A microswitch according to any of claims 1 or 2,  
15 characterized in that the deformable means (28, 68, 108, 148) are made of an insulating material and support conductive parts to constitute a control electrode or control electrodes (48, 58; 88, 98; 118, 128; 158, 168) and a conductive stud (38, 78, 138, 178)  
20 to constitute said conductive means.

5. A microswitch according to any of claims 1 or 2, characterized in that each strip conductor end is formed on a projection (7, 27, 107, 147) of the support.

25 6. A microswitch according to any of claims 1 or 2, characterized in that said conductive means (78) are protruding in relation to the deformable means (68).

7. A microswitch according to any one of claims 1 to 6, characterized in that the microswitch being of an ohmic contact type, the conductive means (38, 78, 178)  
30 can directly electrically contact the strip conductor

ends.

8. A microswitch according to any one of claims 1 to 6, characterized in that the microswitch being of a capacitive contact type, an insulating material layer  
5 is interposed between the conductive means (138) and the strip conductor ends.

## ABSTRACT

The invention relates to an electrostatic microswitch which is intended to connect electrically  
5 two strip conductors which are disposed on an insulating support (21), the two strip conductors are connected electrically by conducting means (38) which are provided in the central part of deformable means (28) which can be deformed in relation to the support  
10 under the effect of an electrostatic force generated by control electrodes (25, 48; 26, 58). The control electrodes are distributed facing one another on the deformable means and the support, such as to form capacitive means around the aforementioned conducting  
15 means. The control electrodes are associated with insulating stop elements (35, 36) which are provided in order to prevent a short circuit between electrodes of the capacitive means during the deformation of the deformable means. The distance between the deformable  
20 means and the ends of the strip conductors is less than or equal to the distance between the insulating stop elements associated with the control electrodes and the control electrodes located opposite.

1 / 5

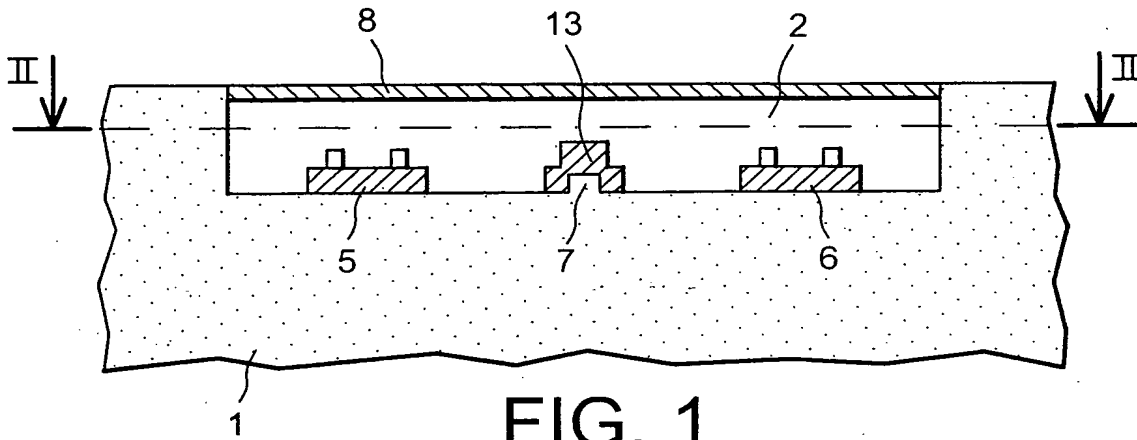


FIG. 1

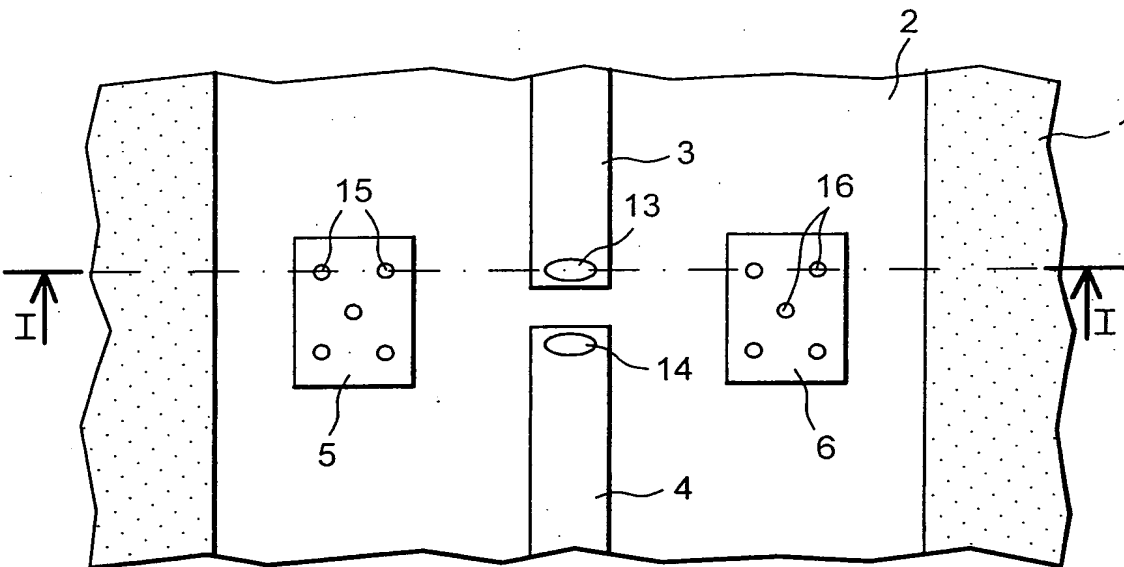


FIG. 2

2 / 5

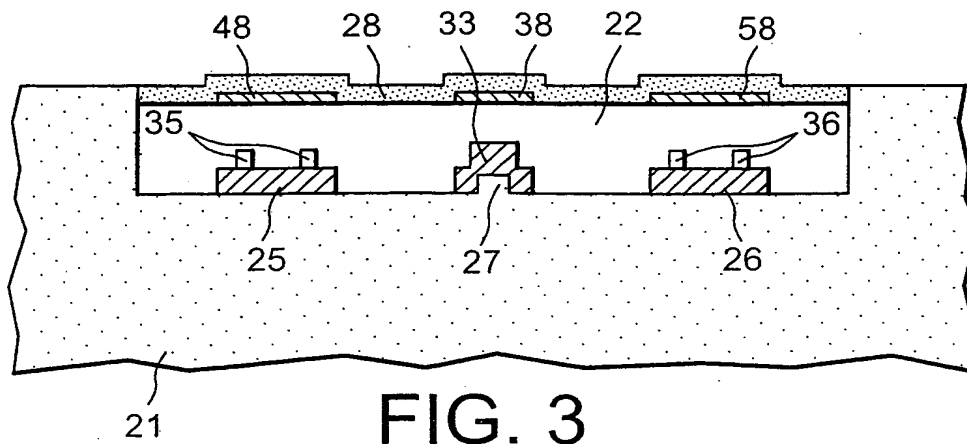


FIG. 3

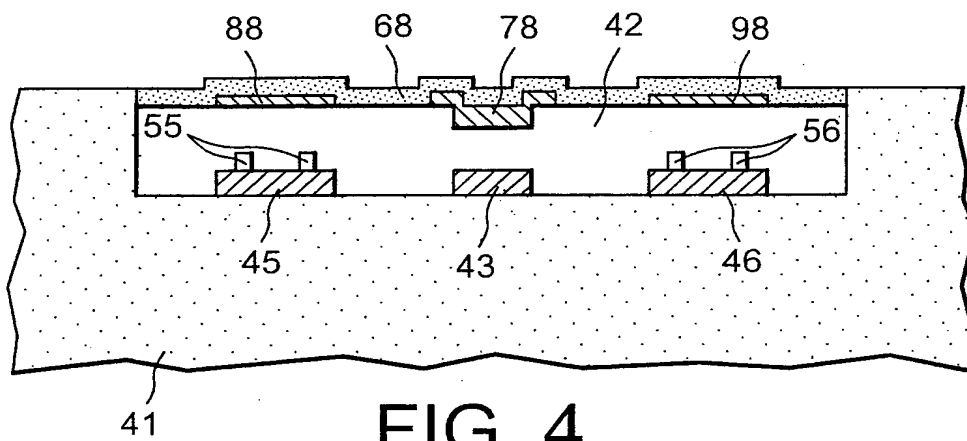


FIG. 4

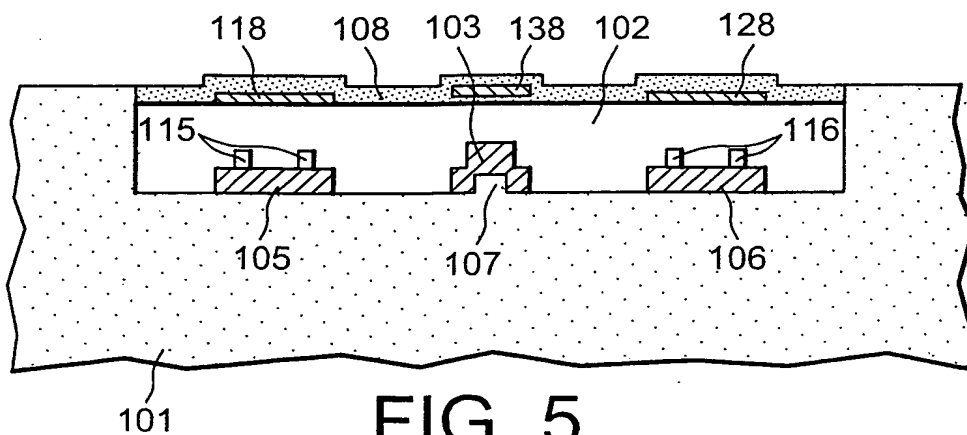
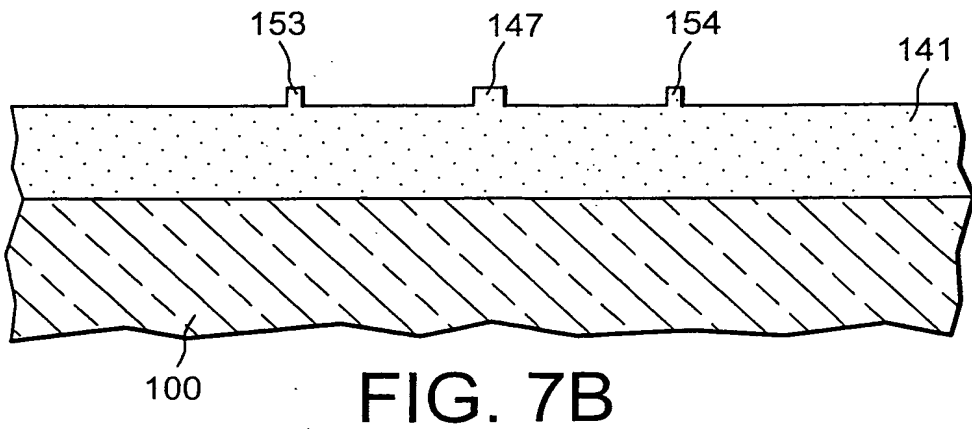
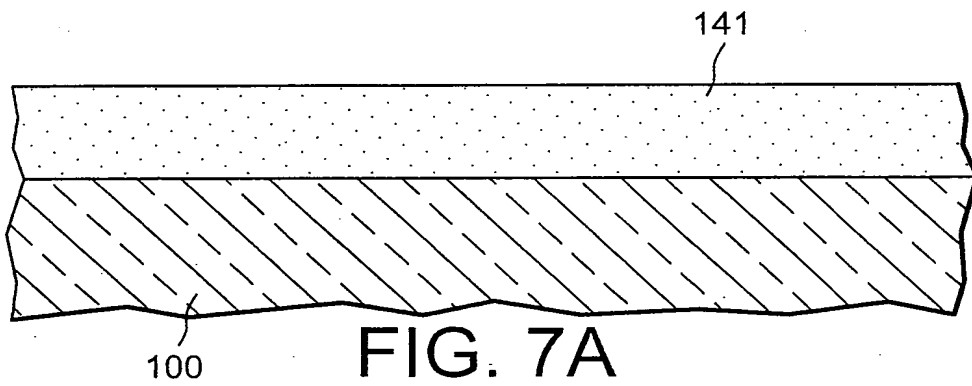
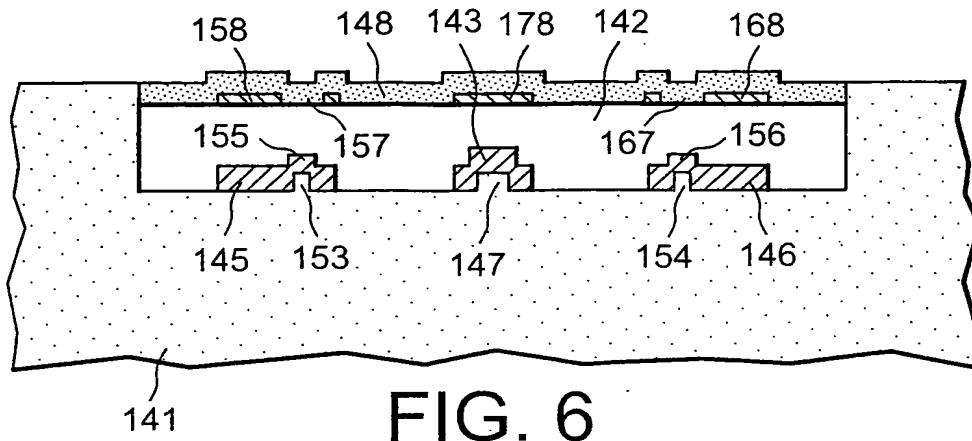


FIG. 5

3 / 5



4 / 5

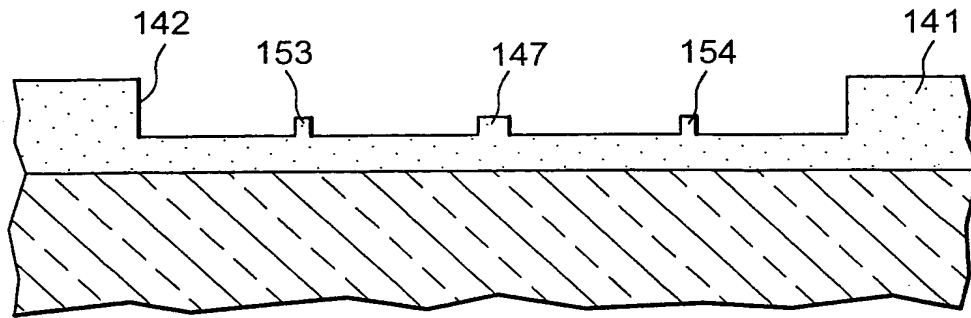


FIG. 7C

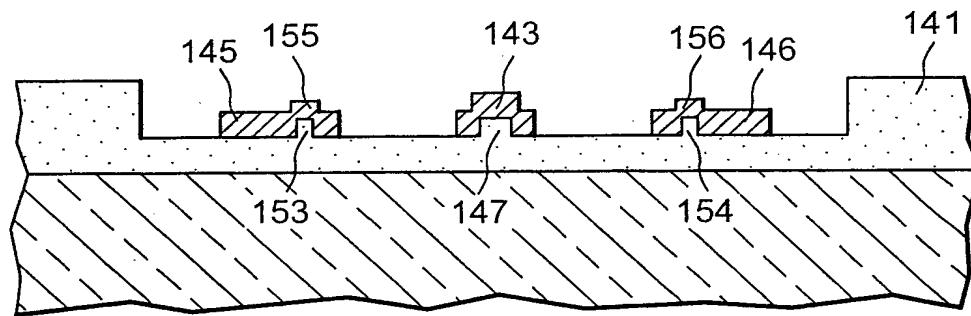


FIG. 7D

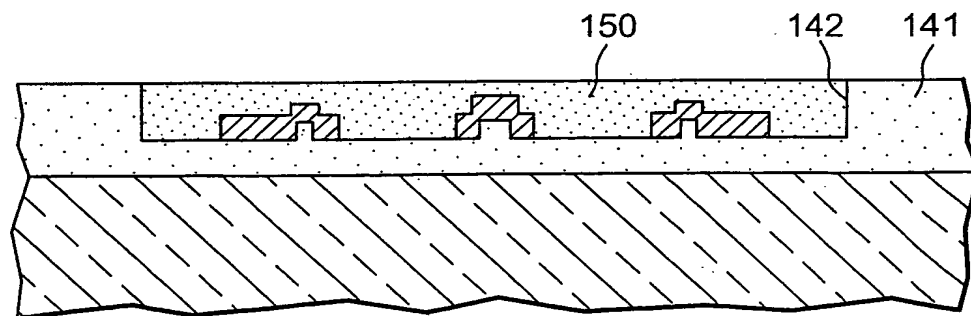


FIG. 7E

5 / 5

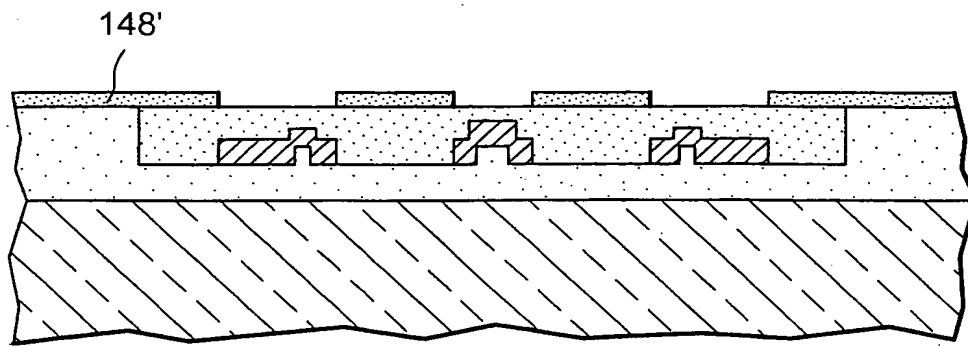


FIG. 7F

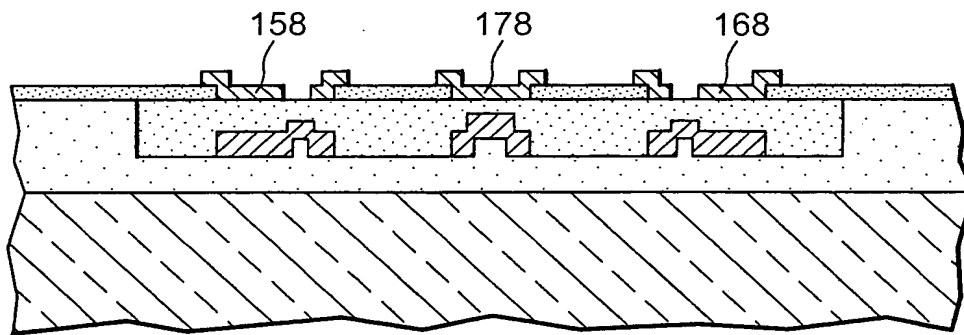


FIG. 7G

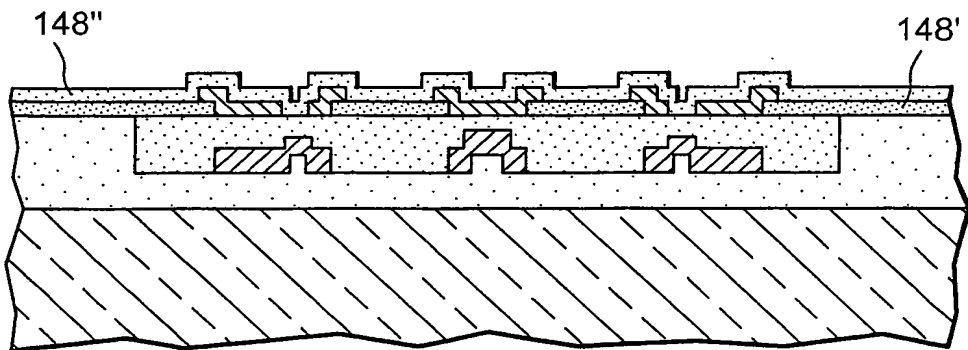


FIG. 7H